

ТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ГРАФИТ-АЛМАЗ В ГНЕЙСАХ КОКЧЕТАВСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)

Михайленко Д.С.^{1,2}, Щепетова О.В.^{1,2}, Резвухин Д.И.^{1,2}

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
pazilovdenis@igm.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

Комплексы сверхвысоких давлений являются уникальными объектами, позволяющими проследить глубинный цикл углерода. Сосуществование графита и алмаза в метаморфических породах сверхвысоких давлений (UHPM) установлено во всех алмазоносных комплексах [Shertl et al., 2013 и ссылки в ней] и в мантийных ксенолитах из кимберлитов [Бобриевич и др., 1959; Robinson., 1979]. Совместное нахождение полиморфных модификаций углерода в UHPM породах и мантийных ксенолитах может объясняться следующими процессами: (i) формированием графита в его собственном поле стабильности в результате трансформации исходного углистого вещества и сохранением графита как метастабильной фазы в поле стабильности алмаза; (ii) графитизацией алмаза или (iii) образованием «нового» графита на пике метаморфизма в поле стабильности алмаза или на регрессивном этапе метаморфизма в его поле стабильности [Korsakov et al., 2015 и ссылки в ней]. Просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ) позволяет изучить особенности взаимоотношений между полиморфными модификациями углерода на субмикронном уровне [Frezzotti et al., 2014]. В данной работе представлены результаты ТЕМ-исследования сростка кристаллов графита и алмаза, включенного в турмалин из месторождения алмаза Кумды-Коль.

Среднезернистые метасоматические турмалин-калишпат-мусковит-кварцевые гнейсы в целом имеют гранобластовую структуру и массивную текстуру, однако в некоторых образцах наблюдается полосчатость, обусловленная чередованием обогащенных турмалином и кварц-мусковитовых прослоев. Эти породы содержат пойкилобласты и, реже, субидiomорфные зерна турмалина (~20 об.%) в кварц-полевошпатовой матрице. Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, графитом и алмазом. Турмалин является дравитом состава $(\text{Na}_{0.4-0.5}\text{K}_{0.3}\text{Ca}_{0.2})(\text{Mg}_{2.2-2.3}\text{Fe}_{0.3}\text{Al}_{0.2-0.3}\text{Ti}_{0.1}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{O}_{0.7-0.8}\text{OH}_{3.2-3.3}))$.

Кристалл графита находится на контакте с одной из граней {111} кристалла алмаза (рис. 2). На других гранях октаэдра и поверхностях {100} кристалла алмаза графит не обнаружен. Граница раздела между полиморфными модификациями углерода отчетливая.

Оrientировка грани пинакоида кристалла графита по отношению к грани {111} кристалла алмаза варьирует в пределах зерна от (001)∥(111) (рис.1 Д) до (001)⊥(111) (рис.1 Ж). Кристалл графита пластически деформирован и состоит из множества отдельных доменов (рис.1 В). Деформации в кристалле графита происходили вдоль оси а (рис.1 В), что привело к интенсивному изгибу слоев. Тем не менее, графит характеризуется высокоупорядоченной структурой по всему объему кристалла, что подтверждается дифракционными

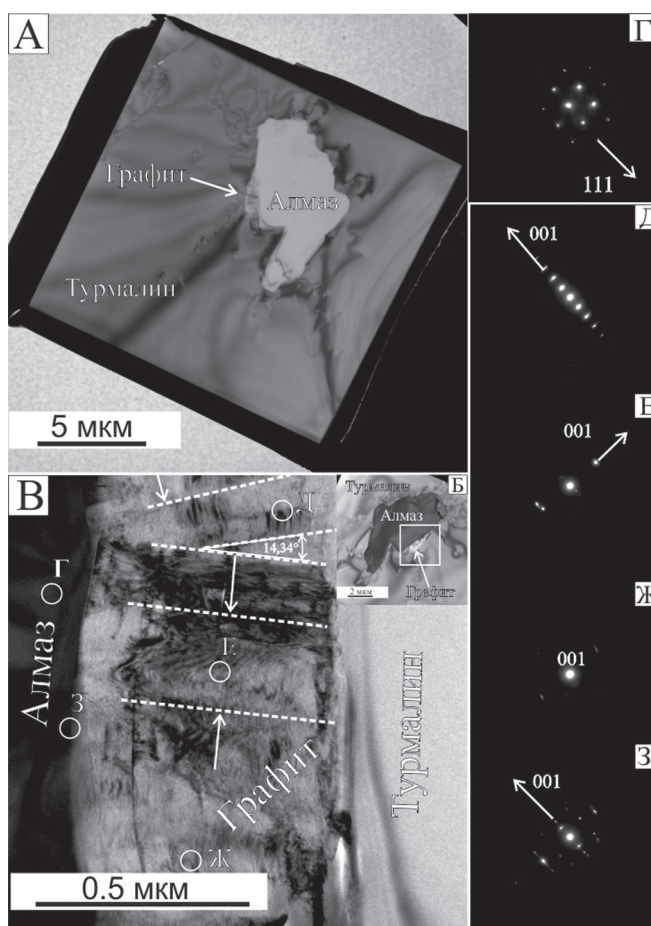


Рис. 1. (А)-(Б)–Поперечный разрез включения кристаллов алмаза и графита в турмалине; (В)–Увеличенный участок изображения (Б) демонстрирующий границу между кристаллами алмаза и графита. Кружками обозначены точки дифракционных исследований; (Г)-(З)–Дифракционные изображения, полученные на просвечивающем электронном микроскопе (ТЕМ)

картинами (рис.1 Г-Ж). Прецизионные исследования границы раздела между кристаллами графита и алмаза установили отсутствие разупорядоченного (аморфного) углерода, свойственного для частично графитизированного алмаза [Willems et al., 2004]. Отсутствие разупорядоченного углерода на границе графит-алмаз свидетельствует против образования графита в результате частичной графитизации кристалла алмаза на регрессивном этапе метаморфизма.

Следы растворения кристалла алмаза в изученном образце отсутствуют, а степень упорядоченности кристалла графита в пределах кристалла постоянна. Учитывая низкую растворимость углерода в С-О-Н флюиде при 2.0-2.5 ГПа и 1400-1600°C [Korsakov et al., 2015], перекристаллизация алмаза в графит при участии С-О-Н флюида маловероятна.

Графит и турмалин являются резко анизотропными в части механических свойств минералами [Xu et al., 2016; Lowitzer et al., 2006]. Сжимаемость кристаллов графита происходит сильнее вдоль оси с, а турмалина - в направлении оси а [Xu et al., 2016; Lowitzer et al., 2006]. Дифракционные данные показывают, что в нашем образце, плоскость пинакоида кристалла графита перпендикулярна оси с турмалина. Вероятнее всего, деформация кристалла графита происходила после захвата его турмалином – на регрессивном этапе, что привело к интенсивному смятию кристалла графита вдоль оси а.

Таким образом, совместное нахождение кристаллов графита и алмаза нельзя однозначно интерпретировать как продукт частичной графитизации алмаза. Кристаллизация графита могла происходить как сингенетично с кристаллом алмаза в его поле стабильности, так и на регрессивном этапе, в поле стабильности графита. Дифракционные картины деформированных кристаллов графита продемонстрировали, что изгиб и деформация этих кристаллов не влияют на степень упорядоченности графита.

Работы выполнены в рамках государственного задания, проект №0330-2016-0006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобриевич А. П., Смирнов Г. И., Соболев В. С. Ксенолит эклогита с алмазами // Докл. АН СССР. 1959. Т. 126. №. 3. С. 637-640.
2. Frezzotti, M. L., Huizenga, J. M., Compagnoni, R., Selverstone, J. Diamond formation by carbon saturation in C–O–H fluids during cold subduction of oceanic lithosphere // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2014. Т. 143. С. 68-86.
3. Korsakov, A. V., Zhimulev, E. I., Mikhailenko, D. S., Demin, S. P., Kozmenko, O. A. Graphite pseudomorphs after diamonds: An experimental study of graphite morphology and the role of H₂O in the graphitisation process // *Lithos*. 2015. Т. 236. С. 16-26.
4. Lowitzer S., Winkler B., Tucker M. Thermoelastic behavior of graphite from in situ high-pressure high-temperature neutron diffraction // *Physical Review B*. 2006. Т. 73. №. 21. С. 214-115.
5. Robinson D. N. Diamond and graphite in eclogite xenoliths from kimberlite // *The Mantle Sample: Inclusion in Kimberlites and Other Volcanics*. 1979. P. 50-58.
6. Schertl H. P., Sobolev N. V. The Kokchetav Massif, Kazakhstan: “Type locality” of diamond-bearing UHP metamorphic rocks // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013. Т. 63. С. 5-38.
7. Willems B., De Corte K., Van Tendeloo G. Why does polycrystalline natural diamond turn black after annealing? // *Physica status solidi (a)*. 2004. Т. 201. №. 11. С. 2486-2491.
8. Xu, J., Kuang, Y., Zhang, B., Liu, Y., Fan, D., Li, X., Xie, H. Thermal equation of state of natural tourmaline at high pressure and temperature. // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2016. Т. 43. №. 5. С. 315-326.